

FloEFD v-9.0 【用語解説】

【免責事項】

本節ではマニュアル、GUI、及び弊社のウェブ・サイトを補足する目的で、用語の解説を致します。

教科書的な厳密さよりも、**FloEFD** を使用する際の分かり易さを主眼としています。

(株)SimScid の現時点での理解に基づく記述であり、マニュアルの翻訳ではありません。

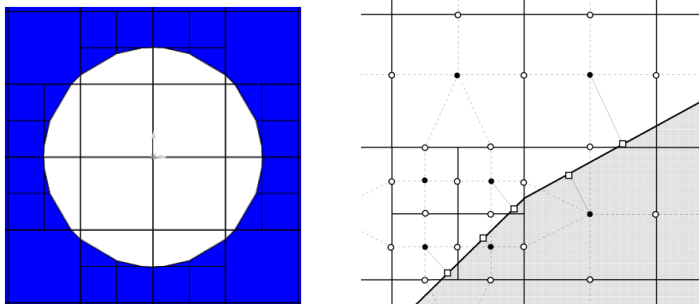
Disclaimer : SimScid Corp. makes no warranties, express or implied, in this web-log.

●Partial-Cell: (page-53/388 ; UserGuide)

"Cut-Cell"と言う場合も有ります。

格子線が物体形状（固体壁面）に一致しない場合、流れ場の面通過率（或いは開口率）を用いて、FVM（有限体積法）の有効表面積を算出します。

固体領域（固体壁）が流れ場のセルを部分的に閉塞する場合でも、此の方法に依って質量保存則、エネルギー保存則は満足します。

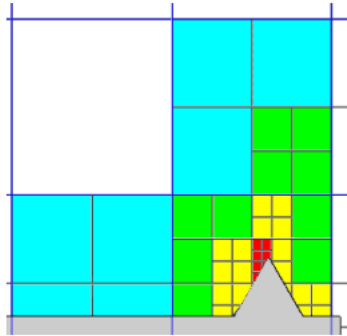


●8分木法 (octree) :

『上位レベルのボクセル (master-cell)』の表面の中間点 (hanging-node : 分岐点) から『従属レベルのボクセル (slave-cell)』に2分木(binary-tree) します。

2D 解析では4分木 (quad-tree) という場合も有ります。

分木比 (分岐比) は、デカルト座標系の個々の方向に付いて【1 : 2】です。【1 : 3】以上の急変分割は使用しません。



●Ray-Tracing 法 : (Ref-[2],page-25/164)

輻射面数が(N)個の体系では、形態係数行列は $[N \times N]$ 元のマトリックス要素の計算が必要です。即ち、トーナメントの計算が必要です

計算領域内に輻射熱線（光線）を遮蔽する物体（固体壁、凸領域）が存在する場合には、陰影部の判定に伴う計算負荷は、大規模解析では急激に大きくなります。

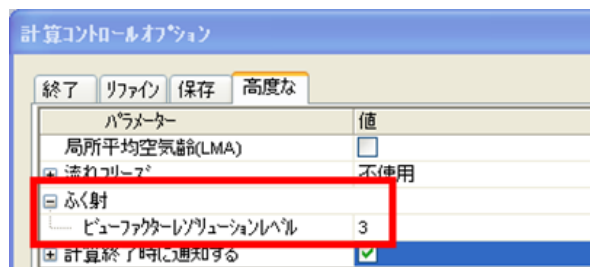
この課題への対処として、**FloEFD** は CG (computer-graphics) で使用されるレイ・トレーシング法を用います（「Monte Carlo 法」：Ref-[2],page-25/164）。

大規模解析や凹凸の有る複雑形状に対しては、レイ・トレーシング法は Gauss 積分や Newton-Cotes 法、等の数値積分よりも計算効率が良いとされています。

●形態係数のクラスタ化：グループ化

形態係数法は密行列 (dense-matrix) の演算を伴い、計算機負荷の低減が課題となります。大規模解析に於いて、複数の輻射面要素を纏め、マトリクス・サイズをコンパクト化する事が出来ます。

解像度の指定で、自動的にクラスタ化を行います。



●灰色輻射：

輻射率（放射率） ϵ は温度依存性 ($\epsilon = \epsilon(\text{Temp})$) には対応しますが波長依存 ($\epsilon = \epsilon(\lambda)$) ではありません。

熱輻射に関しては、キルヒホッフ (Kirchhoff) の仮定を採用し、吸収率は放射率に等しい ($\alpha = \varepsilon$) とします。又、固体の透過係数はゼロとして熱収支を計算します ($\tau = 0$)。

他方、Version-9 から導入された「太陽光輻射 (太陽光照射)」の機能を使用する場合は別途、吸収率 α が必要となります。

●乱反射：

形態係数の算出の段階ではレイ・トレーシング法 (Monte Carlo-Ray Tracing) を用います。形態係数行列を算出後は、要素面間の熱流束の収支の計算は、乱反射の仮定に基づきます (Ref[2], page-24/164)。

従いまして、DSMC (Direct-Simulation Monte Carlo) 法ではありません。

●定常計算 (擬似時間増分)：

着目する主要領域の近傍は；

- (1) 解像度を上げる為に格子サイズは小さく、
- (2) 狭窄部などでは、一般的に速度は大きくなります。

即ち、CFL 数 ($CFL = \frac{u \cdot \Delta t}{\Delta x}$) は大きくなります。

陰解法であっても CFL 数は一つの指標となります。目標の CFL 数を (例えば target-CFL=0.7 と) 先ずは固定して考えますと、基準となる Δt は小さくなります。

他方、一般部は、ともすれば粗分割になる傾向があり、通過する特性時間は比較的長くなります。

従って非定常計算の時間増分は**主要点の状態量**で律速される傾向にあります。

しかし、定常現象は解に到達する迄の**時間経路に非依存**です。この性質を用いて、各々のセルでは、その**領域の特性時間に応じた**局所的な時間増分を用いて収束計算を行います。慣性緩和係数の自動調整の効果が有り、安定した解が迅速に得られます。

●SIMPLE 法 (SIMPLE-like)：(Ref-[2],p-40/162)

時間方向には Euler の陰解法です。

質量保存則に関して「解く可き変数 (主たる変数)」は圧力です。此の意味で "pressure-base" と呼称する場合も有ります。従って、

$$\rho = \text{const.} : \rho = \rho(\text{Temp}) \quad (\text{温度依存の非圧縮})$$

の場合は当然として、

$$\rho = \rho(P, T) ; \text{例えば、} \rho = \frac{P}{RT}$$

の形式の圧力依存の圧縮性流体にも対応可能です。

●マルチ・グリッド法：

SIMPLE 法では、圧力は Poisson 方程式を解いて得られます。マトリクスの 1 回の反復では圧力変動はセル単位 (cell-wise) に局所的に隣接領域に伝播します。

従って、細分割の格子系 (大規模解析) では、圧力の擾乱が流入境界から流出境界に到達する迄には相当の反復数が必要です。

そこで、格子系を 2 重構造 (重複ネットワーク ; 2 重のトポロジ) で考えます。長い波長の圧力変動は粗視化した格子系で解像し此の結果を、微視化した格子系に補間 (マッピング) し、微細構造 (高周波成分 : 短い波長の成分) は此の格子系で解像します。

此の 2 つのトポロジを交互に反復する事により系全体の大域的な収束を加速する方法です。

●実在気体：

密度 (又は比体積) と圧力の非線形な関係を 3 次式で記述する【van der Waals 型】の構成式 (Redlich-Kwong 式) を標準設置しています。

流体	パス
実在気体	
一酸化炭素	定義済み
二酸化炭素	定義済み
冷却剤 R-123	定義済み
冷却剤 R-134a	定義済み
冷却剤 RC318	定義済み
水	定義済み
窒素	定義済み
酸素	定義済み
アンモニア	定義済み
プロパン	定義済み

●キャビテーション：

HEM (homogeneous equilibrium model : 均質型平衡モデル) を採用しています。

FloEFD では液中の溶存気体を蒸気と非凝縮性ガス (NCG : non-condensable gas, non-condensable gas) とを区別しキャビテーションへの寄与を各々、計算します。

蒸気の実在気体の効果は圧縮因子 (圧縮性因子、圧縮係数)【 $Z=(PV)/(nRT)$ 】、即ち実在気体と理想気体のモル質量比で規格化し、理想気体の形式 (圧力に関する線形式) に帰結します。

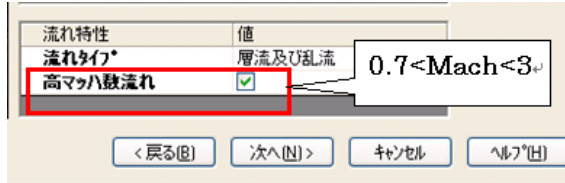
プロジェクト流体	デフォルト流体
水 (液体)	<input checked="" type="checkbox"/>

流れ特性	値
キャビテーション	<input checked="" type="checkbox"/>
溶解ガスの質量分率:	1e-005

NCG : 10[ppm]

●エネルギー方程式：

着目する事象に依って、エネルギー保存則の主変数を自動的に切り替えます。



GUI の選択：

(1) 『【高マッハ数流れ】 =OFF』：

解く可き変数（主たる変数）はエンタルピ(H)です。

(2) 『【高マッハ数流れ】 =ON』：

解く可き変数（主たる変数）は内部エネルギー(E)です。

$$E = H - \frac{P}{\rho}$$

●TVD (Total Variation Diminishing) スキーム：

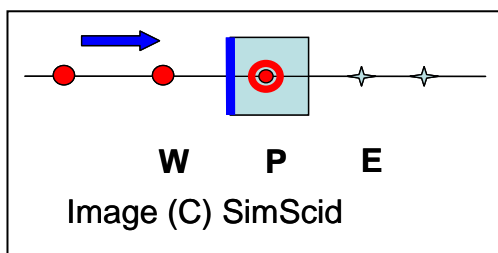
衝撃波等の不連続性、或いは強い非線形性を生じる流れ場の解析に対して、ロバスト性と精度確保の両立を図る方法論です。

詳しくは、文献[1]を御参照下さい。

●Leonard (レナード、レオナルド) の QUICK スキーム：

Quadratic Upstream Interpolation for Convective Kinetics.

上流側の 3 点を通る 2 次曲線に依る補間を用いた高次上流差分のスキームです。



打切精度に付いては、教科書を御参照下さい（例えば、Ref-[3].p-206）。

●HVAC : Heating, Ventilation and Air Conditioning (System)

換気空調システム。

邦語の文書に於いて略語で定着しつつありますから、弊社のウェブ・サイトでは略語で記載しています。

【参考文献】

- [1] 藤井、「流体力学の数値計算法」(第2版)、東京大学出版会、1995, ISBN 4-13-062802
- [2] Technical Reference v-9.0
- [3] 棚橋、「CFD 数値流体力学」、(株)アイピーシー、平成5年